



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 44 21 600 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 S 3/081**  
B 23 K 26/06  
G 02 B 17/00

②① Aktenzeichen: P 44 21 600.9  
②② Anmeldetag: 21. 6. 94  
②③ Offenlegungstag: 4. 1. 96

DE 44 21 600 A 1

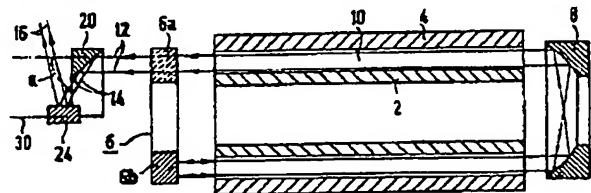
⑦① Anmelder:  
Rofin-Sinar Laser GmbH, 22113 Hamburg, DE  
⑦④ Vertreter:  
Fuchs, F., Dr.-Ing., Pat.-Anw., 81541 München

⑦② Erfinder:  
Anikitchev, Sergej, Dr., St. Petersburg, RU;  
Solov'ev, Vladimir, St. Petersburg, RU; Anan'ev,  
Iouri Prof., St. Petersburg, RU; Lopota, Vitaly, Prof.,  
St. Petersburg, RU; Schanz, Klaus, Dipl.-Phys., 21465  
Reinbek, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Einrichtung zur Formung eines Laserstrahles und coaxialer Laser mit einer solchen Einrichtung

⑤⑦ Eine Einrichtung zur Formung eines Laserstrahles (12) umfaßt gemäß der Erfindung einen ersten Spiegel (20; 22) mit einer Oberfläche, die als Kegelsektor gestaltet ist, und einen zweiten Spiegel (24; 26; 28) mit einer Oberfläche, die als parabolischer Zylinder gestaltet ist, dessen Linienfokus mit der Kegelachse (30) des ersten Spiegels (20; 22) wenigstens annähernd zusammenfällt.



DE 44 21 600 A 1

## DE 44 21 600 A1

1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur Formung eines Laserstrahles mit einem ringsektorförmigen Querschnitt und einen koaxialen Laser mit einer solchen Einrichtung.

Laserstrahlen mit einem ringsektorförmigen Querschnitt werden insbesondere in einem koaxialen Laser, erzeugt. Bei einem koaxialen Laser handelt es sich um einen Laser, bei dem das aktive Medium einen kreisringförmigen Querschnitt hat und einen Hohlzylinder bildet. Solche Laser sind beispielsweise aus der deutschen Offenlegungsschrift 41 23 024 oder aus der WO 91/15045 bekannt. Werden die Ausbreitungsbedingungen für die sich innerhalb des aktiven Mediums ausbreitenden Strahlen durch die Wechselwirkung des Strahlungsfeldes mit den Begrenzungen des aktiven Mediums, i.a. Vielfachreflexionen an diesen Begrenzungen bestimmt, d. h. liegt keine freie Strahlpropagation vor, so handelt es sich um einen Wellenleiterlaser.

Ein solcher koaxialer Wellenleiterlaser ist beispielsweise in der WO 91/15045 offenbart. Zwischen koaxialen hohlzylindrischen Elektroden befindet sich ein mit einem Gas gefüllter Entladungsraum. Gegenüber den offenen Stirnseiten dieser Elektroden sind Resonatorspiegel angeordnet, deren Oberflächen derart geformt sind, daß ein auf die Resonatorspiegel treffender Strahl nicht in sich selbst reflektiert wird, sondern bei jeder Reflexion in Umfangsrichtung versetzt wird. Auf diese Weise wandert der Strahl in Umfangsrichtung zum Rand eines der Resonatorspiegel und tritt dort durch ein Austrittsfenster aus dem Resonator aus.

Der aus den Resonatoren bekannter koaxialer Laser austretende Laserstrahl hat einen ring- oder ringsektorförmigen Querschnitt und ist in der Regel tangential oder radial polarisiert. Sowohl die Form des Querschnitts als auch die tangentiale oder radiale Polarisation des Lichtes innerhalb dieses Querschnitts sind jedoch im Hinblick auf die Propagationseigenschaften des Laserstrahles nachteilig. Im Vergleich zu linear polarisierten Laserstrahlen mit kreisförmigem oder rechteckförmigem Querschnitt gleicher Fläche haben ringsektorförmige Strahlen mit tangentialer oder radialer Polarisation eine deutlich größere Fernfelddivergenz. Das Vorliegen unterschiedlicher Polarisationsrichtungen innerhalb des Querschnitts des Laserstrahles führt außerdem zu einer unerwünschten Verringerung seiner Intensität auf der Strahlachse.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung zur Formung eines Laserstrahles anzugeben, mit der aus einem Strahl mit ringsektorförmigem Querschnitt ein Laserstrahl erzeugt werden kann, der einen annähernd rechteckigen Querschnitt mit innerhalb dieses Querschnitts konstanter linearer Polarisation aufweist. Der Erfindung liegt außerdem die Aufgabe zugrunde, einen koaxialen Laser anzugeben, dessen Ausgangsstrahl einen annähernd rechteckigen oder quadratischen Querschnitt mit innerhalb dieses Querschnitts konstanter linearer Polarisation aufweist.

Die erstgenannte Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst durch eine Einrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1. Da diese Einrichtung einen ersten Spiegel enthält, dessen Oberfläche als Kegelsektor gestellt ist, und einen zweiten Spiegel enthält, dessen Oberfläche die Gestalt eines parabolischen Zylinders hat, dessen Linienfokus mit der Kegelachse des ersten Spiegels wenigstens annähernd zusammenfällt, wird ein auf den ersten Spiegel auftreffender Strahl mit ringsek-

2

torförmigem Querschnitt und tangentialer Polarisation in einen Strahl mit rechteckigem Querschnitt und über den Querschnitt konstanter linearer Polarisation erzeugt.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich gemäß der Unteransprüche.

Die zweitgenannte Aufgabe wird gelöst mit einem koaxialen Laser, dessen Resonator eine Einrichtung zur Formung eines Strahles gemäß der Erfindung zugeordnet ist. In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung befindet sich diese Einrichtung außerhalb des Resonators. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist die Einrichtung zur Strahlformung innerhalb des Resonators angeordnet.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Ausführungsbeispiele der Zeichnung verwiesen, in denen

Fig. 1 ein koaxialer Laser mit einer Einrichtung gemäß der Erfindung in einem Schnitt veranschaulicht ist.

Fig. 2 und 3 zeigen die Form des Strahlquerschnitts und die Polarisationsrichtung innerhalb des Strahlquerschnitts für einen Laserstrahl vor bzw. nach Passieren einer Einrichtung zur Formung eines Laserstrahles gemäß der Erfindung.

Fig. 4 zeigt die Einrichtung zur Formung eines Laserstrahles in einer axialen Draufsicht.

In Fig. 5 und 6 sind eine in der Praxis verwirklichte und eine bezüglich der Abbildungsbedingungen ideale Anordnung der Spiegel innerhalb der Einrichtung zur Formung eines Laserstrahles in einem Schnitt veranschaulicht.

Fig. 7 bis 10 zeigen weitere Ausgestaltungen einer Einrichtung zur Formung eines Laserstrahles gemäß der Erfindung.

In Fig. 11 ist eine bevorzugte Ausgestaltung eines koaxialen Lasers gemäß der Erfindung offenbart, bei dem die Einrichtung zur Formung eines Laserstrahles innerhalb eines Resonators des Lasers angeordnet ist.

Gemäß Fig. 1 enthält ein koaxialer Laser, beispielsweise ein koaxialer Wellenleiterlaser, koaxial zueinander angeordnete hohlzylindrische Elektroden 2 und 4, die einen hohlzylindrischen Entladungsraum 10 festlegen. Gegenüber einer der Stirnflächen der hohlzylindrischen Elektroden 2 und 4 ist ein erster Resonatorspiegel 6 und gegenüber der anderen Stirnfläche ein zweiter Resonatorspiegel 8 angeordnet. Der erste Resonatorspiegel 6 ist auf einem Teil seines Umfangs, beispielsweise auf seinem halben Umfang, als teildurchlässiger Spiegel 6a und auf dem übrigen Teil als undurchlässiger Spiegel 6b gestaltet. Die Resonatorspiegel 6 und 8 bilden gemeinsam mit dem durch die Elektroden 2 und 4 gebildeten koaxialen Wellenleiter einen Resonator. Der durch den teildurchlässigen Spiegel 6a hindurchtretende und aus dem Resonator austretende Laserstrahl 12 hat entsprechend der ringsektorförmigen Gestalt des teildurchlässigen Spiegels 6a einen ebenfalls ringsektorförmigen Querschnitt.

Der Resonatorspiegel 8 ist vorzugsweise als Kegelspiegel oder, wie in der Figur dargestellt, als Rotationsparaboloid gestaltet, um eine effektive Kopplung aller Bereiche des Resonators sicherzustellen.

Gegenüber dem teildurchlässigen Spiegel 6a ist in Ausbreitungsrichtung des Laserstrahles 12 ein erster Spiegel 20 angeordnet, dessen spiegelnde Oberfläche die Gestalt eines Kegelsektors um eine Kegelachse 30 hat. Die Achse des Laserstrahles 12 ist zu dieser Kegelachse 30 parallel. Dieser erste Spiegel 20 lenkt den aus dem Resonator austretenden Laserstrahl 12 um einen

## DE 44 21 600 A1

3

nahe bei  $90^\circ$  liegenden Winkel  $\alpha$  um. Der Winkel  $\alpha$  entspricht dem Öffnungswinkel des Kegelsektors. Eine geringfügige Winkelabweichung von  $90^\circ$  ist erforderlich, um eine Auskopplung des Laserstrahles 12 zu ermöglichen, und sollte im Rahmen der vorgegebenen geometrischen Bedingungen möglichst klein gewählt werden.

Der vom ersten Spiegel 20 abgelenkte Laserstrahl 14 trifft auf einen zweiten Spiegel 24, dessen Oberfläche die Gestalt eines parabolischen Zylinders hat, dessen Linienfokus mit der Kegelachse 30 des ersten Spiegels zusammenfällt. Der von diesem zweiten Spiegel 24 reflektierte Laserstrahl 16 hat dann einen annähernd rechteckigen Querschnitt mit einer über den Querschnitt konstanten linearen Polarisierung.

In Fig. 2 sind der Strahlquerschnitt des aus dem Resonator austretenden Laserstrahls 12 sowie die den unterschiedlichen Bereichen innerhalb dieses Strahlquerschnitts zugeordneten Polarisationsrichtungen 13 veranschaulicht. In der Figur ist zu erkennen, daß die Polarisationsrichtung 13 tangential verläuft und somit innerhalb des Strahlquerschnitts variiert.

Der vom zweiten Spiegel 24 reflektierte Laserstrahl 16 hat demgegenüber einen in der Fig. 3 veranschaulichten, annähernd rechtwinkligen Querschnitt mit über dem gesamten Querschnitt konstanter Polarisationsrichtung 17. Diese Eigenschaften hat der vom zweiten Spiegel 24 reflektierte Laserstrahl 16 auch dann, wenn der aus dem Resonator austretende Laserstrahl eine radiale Polarisierung hat.

In der Draufsicht gemäß Fig. 4 ist veranschaulicht, daß die Kegelachse 30 mit dem Linienfokus des konvexen zweiten Spiegels 24 zusammenfällt. Auf diese Weise werden die durch den ersten Spiegel 20 als Linie auf die Kegelachse 30 fokussierten Strahlen 14 in zueinander parallele Strahlen 16 umgewandelt.

Eine exakte Umwandlung eines ringsektorförmigen Strahlquerschnitts in einen rechteckigen Strahlquerschnitt erfolgt streng theoretisch nur mit einer Spiegelanordnung gemäß Fig. 5, die einen ersten Spiegel 21 enthält, dessen Kegelöffnungswinkel exakt  $90^\circ$  beträgt. Mit diesem Spiegel 21 wird eine Ablenkung des Laserstrahls 12 um exakt  $90^\circ$  erzeugt, mit der jedoch ein Austreten des Laserstrahls aus dem Laser aus konstruktiven Gründen sehr schwierig wird.

Aus diesem Grund weicht im praktischen Ausführungsbeispiel der Kegelöffnungswinkel des ersten Spiegels 20 etwas von  $90^\circ$  ab. Im Querschnitt gemäß Fig. 6 ist zu erkennen, daß die Ablenkung des Laserstrahls 12 am ersten Spiegel 20 um einen Winkel  $\alpha$  erfolgt, der um einen kleinen Winkel  $\delta$  von  $90^\circ$  abweicht. Im Beispiel der Figur ist  $\delta$  negativ, d. h. der Winkel  $\alpha$  ist kleiner als  $90^\circ$ . Der Winkel  $\alpha$  kann jedoch auch größer als  $90^\circ$  sein. Diese Abweichung von  $90^\circ$  ist notwendig, um zu ermöglichen, daß der am zweiten Spiegel 24 reflektierte Laserstrahl 16 aus dem Resonator austreten kann. Dies hat zwar zur Folge, daß der Strahlquerschnitt des am zweiten Spiegel 24 reflektierten Laserstrahls 16 nur noch annähernd die Form eines Rechtecks aufweist. Die damit verbundenen Nachteile können aber für kleine Winkel  $\delta$  bis etwa  $20^\circ$  in Kauf genommen werden.

Anstelle eines von  $90^\circ$  abweichenden Kegelöffnungswinkels kann der Spiegel 24 auch verkippt sein, so daß Linienfokus und Kegelachse nicht mehr exakt zusammenfallen und auf diese Weise ein Austreten des Laserstrahles 16 möglich wird.

Fig. 7 und 8 zeigen eine weitere Ausführungsform einer zur Strahlformung gemäß der Erfindung geeigneten

4

Einrichtung. In dieser Ausführungsform ist ein konkav gekrümmter zweiter Spiegel 26 vorgesehen. Auch in diesem Ausführungsbeispiel fällt die Kegelachse 30 mit dem Linienfokus des zweiten Spiegels 26 zusammen, der in diesem Fall außerhalb des zweiten Spiegels 26 liegt.

In der Ausführungsform gemäß Fig. 9 und 10 ist ein erster Spiegel 22 vorgesehen, dessen spiegelnde Fläche durch einen Ausschnitt gebildet wird, der kleiner als  $180^\circ$  ist. Die Größe des Ausschnitts ist in allen Ausführungsformen derart an die Größe des aus dem Resonator austretenden Laserstrahls 12 anzupassen, daß der gesamte Laserstrahl 12 abgebildet wird. In Fig. 10 ist außerdem zu erkennen, daß der Kegelöffnungswinkel und somit auch der Winkel  $\alpha$  kleiner als  $90^\circ$  ist.

Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 11 ist die aus einem ersten Spiegel (Kegelspiegel) 22 und einem zweiten Spiegel (parabolischer Zylinderspiegel) 24 gebildete Einrichtung zur Strahlformung innerhalb eines durch die Spiegel 8, 7a und 7b begrenzten Resonators angeordnet. Bei dem Spiegel 8 handelt es sich in Analogie zum Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 vorzugsweise um einen Parabolspiegel oder um einen Kegelspiegel. Der Spiegel 7b, bei einem coaxialen Wellenleiterlaser vorzugsweise ein Toroid, deckt nur einen Teil der ihm zugewandten Stirnfläche des Entladungsraumes 10 ab, so daß ein Laserstrahl mit ringsektorförmigen Querschnitt auf den ersten Spiegel 22 der Einrichtung zur Formung eines Strahles gelangt und von dort zum zweiten Spiegel 24 umgelenkt wird. Der vom zweiten Spiegel 24 reflektierte Strahl 16 mit rechteckigem Querschnitt trifft auf einen teildurchlässigen Spiegel 7a, beispielsweise ein Planspiegel, insbesondere ein Zylinderspiegel, der einen Teil des Strahls 16 hindurchläßt und einen Teil erneut in die Einrichtung zur Formung eines Laserstrahles zurückreflektiert. Dort wird der zurückreflektierte Strahl in einen Laserstrahl mit ringsektorförmigem Querschnitt umgewandelt und tritt erneut in den Wellenleiter ein. Im Ausbreitungsweg des Laserstrahls 16 ist in einer bevorzugten Ausführungsform zusätzlich ein ebener Umlenkspiegel 29 angeordnet, mit dem der Strahl 16 parallel zur Längsachse des Lasers ausgerichtet wird.

## Patentansprüche

1. Einrichtung zur Formung eines Laserstrahles (12) mit ringsektorförmigem Querschnitt, umfassend einen ersten Spiegel (20; 21; 22; 23) mit einer Oberfläche, die als Kegelsektor gestaltet ist, und einen zweiten Spiegel (24; 26; 28) mit einer Oberfläche, die als parabolischer Zylinder gestaltet ist, dessen Linienfokus mit der Kegelachse (30) des ersten Spiegels (20; 21; 22; 23) wenigstens annähernd zusammenfällt.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein konvex gekrümmter zweiter Spiegel (24) vorgesehen ist.
3. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein konkav gekrümmter zweiter Spiegel (26) vorgesehen ist.
4. Coaxialer Laser, insbesondere coaxialer Wellenleiterlaser, mit einem Resonator (6, 8; 7a, 7b, 8) dem eine Einrichtung (20, 24; 20, 26; 22, 28) zur Formung eines Laserstrahls (12) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche zugeordnet ist.
5. Coaxialer Laser nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (20, 24; 20, 26; 22,

## DE 44 21 600 A1

5

6

26) zur Formung eines Laserstrahls außerhalb des Resonators (6,8) angeordnet ist.

6. Koaxialer Laser nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (20, 24; 20, 26; 22, 26) zur Formung eines Laserstrahls innerhalb des Resonators (7a, 7b und 8) angeordnet ist. 5

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:  
Int. Cl.<sup>8</sup>:  
Offenlegungstag:

DE 44 21 600 A1  
H 01 S 3/081  
4. Januar 1996

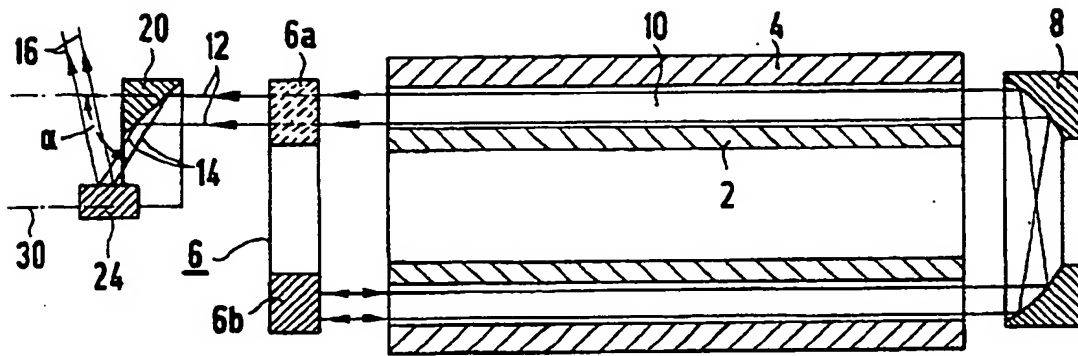


FIG 1 \*

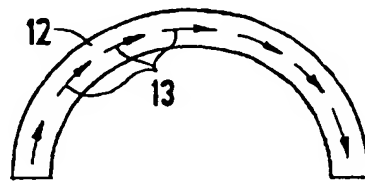


FIG 2

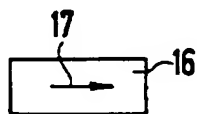


FIG 3

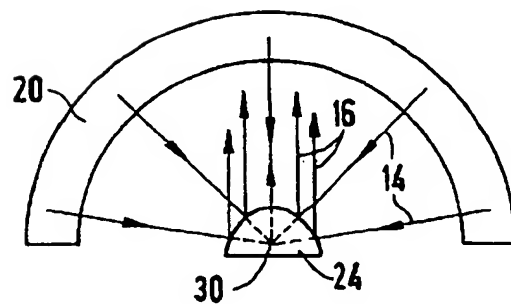


FIG 4

ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer:

DE 44 21 600 A1

Int. Cl.<sup>6</sup>:

H 01 S 3/081

Offenlegungstag:

4. Januar 1996

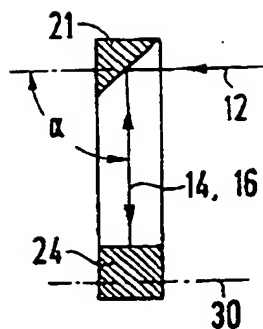


FIG 5

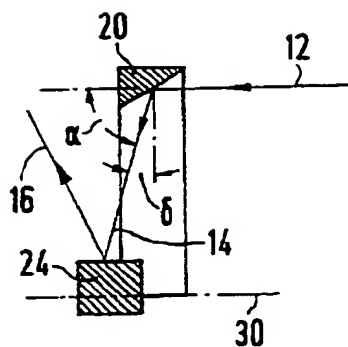


FIG 6

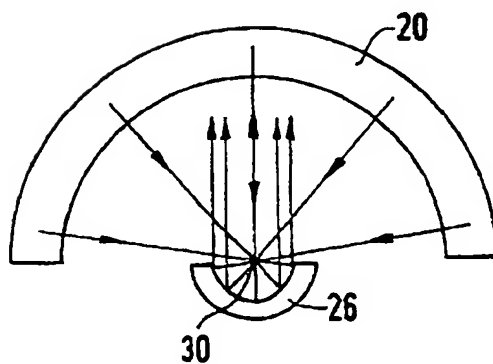


FIG 7

ZEICHNUNGEN SEITE 3

Nummer:  
Int. Cl. 6:  
Offenlegungstag:

DE 44 21 600 A1  
H 01 S 3/081  
4. Januar 1996

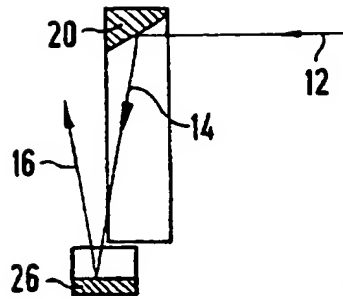


FIG 8

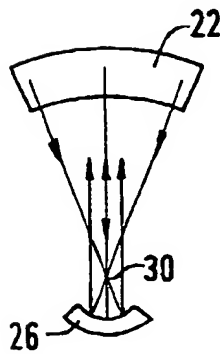


FIG 9

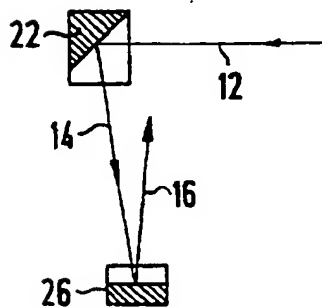


FIG 10

ZEICHNUNGEN SEITE 4

Nummer:

DE 44 21 600 A1

Int. Cl.<sup>8</sup>:

H 01 S 3/081

Offenlegungstag:

4. Januar 1996

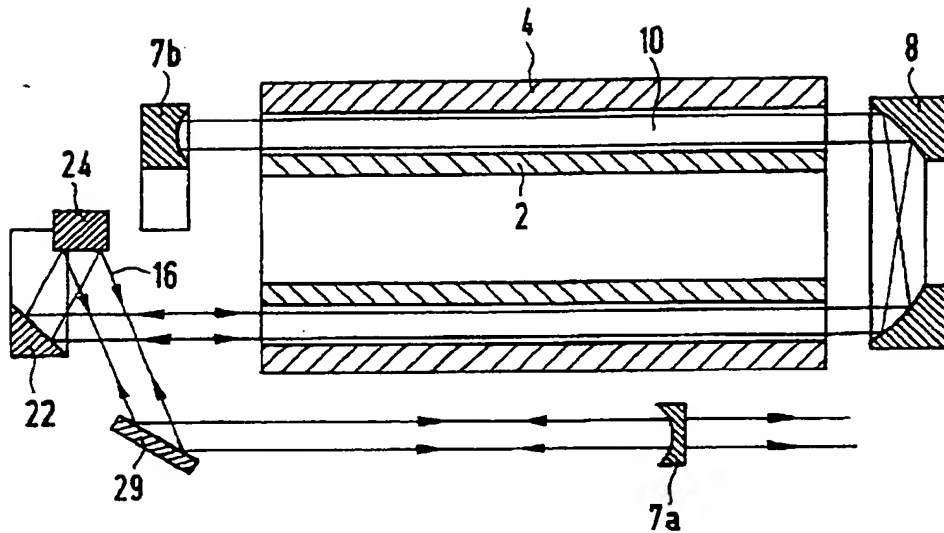


FIG 11